

干旱胁迫对卷柏光合日变化的影响

刘东琳, 周广柱, 李志辉, 李慧英

(沈阳农业大学 林学院, 辽宁 沈阳 110866)

摘要:以卷柏为试材,从卷柏的净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间 CO₂ 浓度与大气 CO₂ 浓度比值(Ci/Ca)、蒸腾速率(Tr)和水分利用效率(WUE)5 个生理指标入手,研究了不同程度的干旱胁迫对卷柏光合日变化的影响。结果表明:正常浇水的卷柏光合速率日变化曲线为双峰,具有明显午休现象;干旱胁迫使得卷柏的光合速率、气孔导度、蒸腾速率降低,对植株的光合日变化影响明显;轻度干旱胁迫条件下,卷柏的光合作用日变化与 CK 基本一致;中度干旱胁迫条件下,卷柏光合速率日变化曲线仍表现出双峰现象,但全天净光合速率值明显下降;重度干旱胁迫条件下,卷柏光合速率日变化曲线的“双峰”和“午休”现象消失,气孔导度、蒸腾速率的数值变化范围较小,且接近于零。

关键词:卷柏;干旱胁迫;净光合速率;光合日变化

中图分类号:S 791.44 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)06-0061-03

卷柏(*Selaginella tamariscina*)为卷柏科(*Selaginellaceae*)卷柏属(*Selaginella*)多年生草本复苏植物。卷柏类植物分布广泛,我国约有 50 多种,产于全国各地^[1]。卷柏属植物因含有丰富的化学成分,决定了它具有很好的药用价值,是临床医学上一种珍贵的药材;与此同时,卷柏通常生于山谷或溪边向阳的岩石上,是比较耐旱的植物^[2]。卷柏喜散射光,形态比较特别,干旱时植株内卷成一团,颜色枯黄,但长时间内仍保持生命,一旦遇水,植株伸展,叶色返绿,是典型复苏植物^[3]。其独特的外表和生活习性决定了它是一种很好的园林植物。

目前我国对卷柏类植物的研究多集中在其化学成分上,为发挥其药用价值提供理论依据。而关于卷柏属植物的园林综合应用研究则较少,现通过对干旱胁迫条件下卷柏光合生理指标的研究,探讨干旱胁迫对卷柏光合日变化的影响,为了解干旱条件下卷柏的光合特性以及卷柏在未来园林中的广泛应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试材为 2010 年 9 月份从野外移植的野生卷柏,在沈阳农业大学植物园内栽培,栽培土壤为生长地原土,土壤装盆前置日光下暴晒 1 周。植株移植至直径 20 cm

的花盆中,浇透水使植株恢复长势,并保持充足的水分供应(70%~80%的田间持水量),定期浇水培育,待植株长势良好,选择长势基本一致的材料进行干旱胁迫,测定光合生理指标。

1.2 试验方法

以叶片相对含水量降低 10%以内为轻度干旱,叶片相对含水量降低 10%~20%为中度干旱,叶片相对含水量降低 20%以上为重度干旱。该试验中,卷柏植株达到以上标准时,盆栽土壤的田间持水量分别为 43%~38%、37%~21%和 20%~12%。以此为标准,当卷柏植株高度达到 8~12 cm 时,随机分为 4 组,标准对照组(CK)、轻度干旱组(盆栽土壤含水量为田间持水量的 45%~36%)、中度干旱组(盆栽土壤含水量为田间持水量的 35%~21%)和重度干旱组(盆栽土壤含水量为田间持水量的 20%~10%)用于光合日变化的测定。对照组(CK)的土壤含水量保持在田间持水量的 70%~60%。

1.3 项目测定

1.3.1 含水量 叶片含水量与土壤含水量的测定均采用烘干法。

1.3.2 光合指标 采用美国 Li-6400 光合仪测定。在试验温室模拟卷柏自然生长环境中进行,记录时间从早上 7:00 开始至傍晚 18:00 结束。测定当天天气晴朗,微少云。光源取自然光照,散射光。各处理测定叶片均选自叶位基本相同的叶片。测定参数包括净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间二氧化碳浓度(Ci)、蒸腾速率(Tr)。以 3 次测定值的平均值为试验数据,用于结论分析。水分利用效率(WUE)计算方法为:WUE=Pn/Tr(同一时刻)。

第一作者简介:刘东琳(1987-),女,吉林四平人,在读硕士,研究方向为园林植物生理生态与栽培。E-mail:jiayouldl@163.com。

责任作者:周广柱(1964-),男,硕士,教授,硕士生导师,现主要从事园林植物生理生态与栽培的教学与研究工作。E-mail:zhouguangzhu@sina.com。

基金项目:辽宁省交通厅资助项目(200612)。

收稿日期:2011-12-21

1.4 数据处理方法

采用 Excel 进行平均值及标准误差的计算及作图。

2 结果与分析

2.1 不同干旱胁迫条件下卷柏净光合速率(Pn)日变化

由图 1 可知,标准对照组(CK),卷柏的净光合速率在 $2\sim7\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 间,光合速率日变化曲线呈现明显“双峰”和“午休”现象,且上午第 1 峰峰值高于下午第 2 峰峰值。净光合速率总体趋势为上午比下午高。轻度干旱胁迫条件下,卷柏净光合速率变化趋势基本与 CK 一致。中度干旱胁迫条件下,卷柏净光合速率变化曲线仍具有较明显的“双峰”变化。上午 9:00 达到第 1 个峰值, Pn 为 $5.5\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。下午 15:00 时出现的第 2 峰值 Pn 较低。全日净光合速率明显比对照组低。重度干旱胁迫条件下,卷柏净光合速率变化曲线非常平缓,“双峰”和“午休”现象消失。Pn 极低,11:00 后几乎为 0,光合作用接近停止。

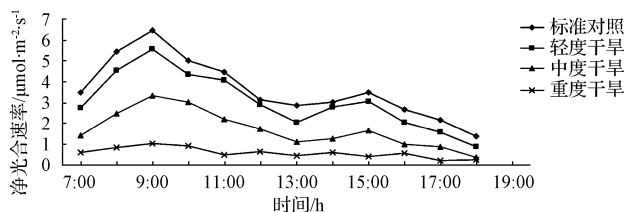


图 1 不同干旱胁迫条件下卷柏净光合速率(Pn)日变化

2.2 不同干旱胁迫条件下卷柏气孔导度(Gs)日变化

由图 2 可知,标准对照组(CK)卷柏的 Gs 变化趋势与 Pn 变化曲线有相关性。上午, Gs 在 9:00 左右达到最大值 $0.062\ \text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 呈现 Gs 变化曲线的第 1 峰,下午 14:00 左右再现 Gs 曲线的第 2 峰。气孔导度总趋势也是上午比下午高,与 Pn 表现相似。轻度干旱胁迫条件下,卷柏气孔导度变化趋势与 CK 基本一致。中度干旱胁迫条件下,卷柏的 Gs 约为 CK 的 50%~60%, 全天 Gs 明显下降。全日 Gs 曲线的变化趋势明显变缓,上午和下午出现的 2 个峰值相差较小。重度干旱胁迫条件下,卷柏的 Gs 为 CK 的 15%~30%,数值变化在 $0.01\sim0.02\ \text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间,全天变化无明显趋势。

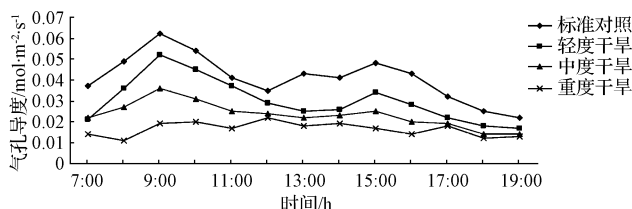


图 2 不同干旱胁迫条件下卷柏气孔导度(Gs)日变化

2.3 不同干旱胁迫条件下卷柏胞间 CO₂ 浓度与大气 CO₂ 浓度比值(Ci/Ca)日变化

干旱胁迫时 Pn 的降低并不是由于水供应不足直接引起,而是由于水分亏缺造成了气孔和非气孔因素限制^[4]。植物胞间 CO₂ 浓度的变化是判断气孔限制和非

气孔限制对 Pn 影响大小的重要指针之一^[5]。一天中,大气中的 CO₂ 浓度不断变化,对植物胞间 CO₂ 浓度的变化有直接影响,因此该试验采用 Ci/Ca 反映卷柏吸收 CO₂ 的变化情况,更准确的分析影响 Pn 变化的因素。

由图 3 可知,4 组材料中,标准对照组卷柏的 Ci/Ca 最低,且全天基本均低于其它组。变化趋势从早上开始下降,8:30~11:00 期间曲线变化较平缓,中午出现一段明显下降趋势,14:30 时后开始回升,17:00 后,迅速上升非常明显,导致曲线非常陡峭。轻度干旱胁迫组的变化趋势与 CK 基本一致。中度干旱胁迫条件下, Ci/Ca 在 9:00~11:00 期间同样保持较低且稳定的状态,17:00 后曲线急速上升,与 CK 表现基本一致。但曲线在午后并没有明显降低趋势,反而略有上升,该点则与 CK 表现明显不同。重度干旱胁迫条件下的卷柏, Ci/Ca 变化曲线只在 9:00 前表现为缓慢下降,之后便一直处于上升的趋势。

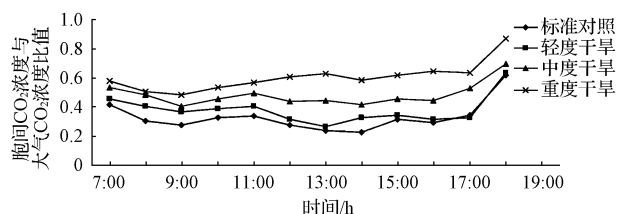


图 3 不同干旱胁迫条件下卷柏胞间 CO₂ 浓度与大气 CO₂ 浓度比值(Ci/Ca)日变化

2.4 不同干旱胁迫条件下卷柏蒸腾速率(Tr)日变化

由图 4 可知,标准对照组卷柏的 Tr 全天基本均高于其它干旱胁迫组。上午 11:00 之前一直保持上升趋势;中午曲线变化呈下降趋势,13:00 左右出现低谷。下午出现小幅度迅速上升后又呈现下降趋势,到 17:00 后植物蒸腾较微弱。轻度干旱胁迫组的变化趋势与 CK 基本一致,各时刻数值略低于 CK。中度干旱胁迫条件下,全天 Tr 曲线的变化趋势与 CK 大体上基本一致,但全天各时刻 Tr 数值明显低于 CK,且下午 Tr 曲线的变化趋势无 CK 明显。严重干旱胁迫条件下,卷柏 Tr 日变化曲线很平缓,无大波动;数值基本保持在 $0.5\ \text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下,大大低于其它组。

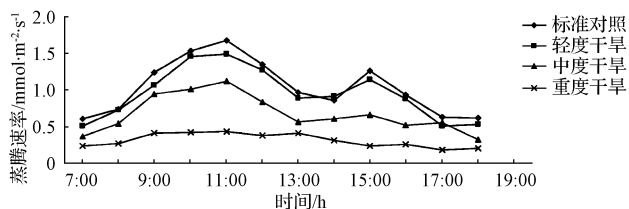


图 4 不同干旱胁迫条件下卷柏蒸腾速率(Tr)日变化

2.5 不同干旱胁迫条件下卷柏水分利用效率(WUE)日变化

由图 5 可知,标准对照组在早上 8:30 的 WUE 最高,为下午和傍晚的 2.5 倍,整体曲线变化趋势和 Gs 相比较,二者基本同步,说明气孔关闭通过影响 Pn 和 Tr,而直接影响了 CK 卷柏的水分利用效率。轻度干旱胁迫

组的变化趋势与 CK 基本一致。中度干旱胁迫处理条件下,卷柏在 13:00 以前的 WUE 变化趋势与 CK 基本一致,但数值明显低于 CK,下午的曲线变化回升趋势不十分明显,与 CK 变化不一致。重度干旱胁迫条件下,卷柏的 WUE 曲线变化趋势基本一直保持下降,数值上显著低于其它处理。

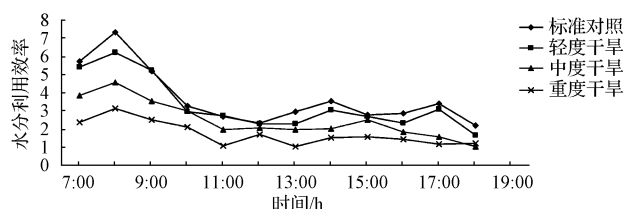


图5 不同干旱胁迫条件下卷柏水分利用效率(WUE)日变化

3 结论与讨论

干旱胁迫是抑制植物光合作用最主要的环境因子之一^[4]。一天中,多种环境因子和植物自身的指标都在不断变化,这些变化会使植物光合速率发生日变化^[5]。该试验结果表明,正常浇水卷柏(CK)的光合日变化有明显“双峰”和“午休”现象;根据数据分析,Gs 的日变化曲线与 Pn 的日变化曲线峰谷相同,趋势一致,说明中午 Gs 的降低引起了光合作用“午休”现象,气孔导度(Gs)的减小是 Pn 日变化中午降低现象发生的直接原因^[6]。而不同程度干旱胁迫均降低了卷柏的光合速率、气孔导度、蒸腾速率,对卷柏的光合作用产生影响。

轻度干旱胁迫组,卷柏的光合作用日变化与 CK 基本一致。中度干旱胁迫组,卷柏光合日变化也出现“双峰”和“午休”,但全天 Pn 明显降低;尤其是在中午前后

Pn、Gs 出现同步下降的情况下,但该阶段的 Ci/Ca 曲线平缓,无明显降低趋势,说明 Pn 的下降不只是因为气孔关闭引起的,还可能非气孔限制因素的作用。重度干旱胁迫组,卷柏 Pn 日变化曲线的“双峰”和“午休”现象消失,Pn、Gs、Tr 3 个基本指标日变化曲线均较平缓,无明显趋势可言,且数值都趋于零;但 Ci/Ca 的比值在 4 组处理中最高,基本保持 1 的水平,说明较高的 Ci 浓度条件下,光合作用仍接近停止,因此在严重干旱胁迫条件下,非气孔限制因素是导致植株光合速率下降的主要因子^[7]。

有试验表明,干旱胁迫条件下,ABA 的含量变化、RuBP 羧化酶活性的变化、叶肉细胞光合的能力等均可成为降低植物 Pn 的限制因子。那么,引起严重干旱胁迫条件下卷柏的 Pn 下降的非气孔因素,还有待进一步的研究以及其它试验的验证。

参考文献

- [1] 北京师范大学生物系. 北京植物志[M]. 2 版. 北京:北京师范大学出版社,1992.
- [2] 中国科学院中国植物志编委会. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [3] 魏琳. 卷柏干旱生理基础及差异蛋白质组学研究[D]. 福州:福建师范大学,2006.
- [4] 窦新永,吴国江,黄红英,等. 麻疯树幼苗对干旱胁迫的响应[J]. 应用生态学报,2008,19(7):1425-1430.
- [5] Farquar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Ann. Rev. Plant Physiol., 1982, 33:317-345.
- [6] Baker N. A possible role for photosystemII in environmental perturbations of photosynthesis[J]. Plant Physiology, 1991, 81:563-570.
- [7] 陈玉玲,曹敏,李云荫,等. 干旱条件下黄腐酸对冬小麦幼苗中内源 ABA 和 IAA 水平以及 SOD 和 POD 活性的影响(简报)[J]. 植物生理学通讯,2000(4):25-28.

Diurnal Photosynthetic Changes of *Selaginella tamariscina* Under Different Drought Stress Conditions

LIU Dong-lin, ZHOU Guang-zhu, LI Zhi-hui, LI Hui-ying

(College of Forestry, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866)

Abstract: Taking *Selaginella tamariscina* as experimental materials, from five physiological indexes of *Selaginella tamariscina* starting, the net photosynthetic rate (Pn), stomatal conductance (Gs), the ratio of intercellular CO₂ concentration and atmospheric CO₂ concentration (Ci/Ca), transpiration rate (Tr) and water use efficiency (WUE), diurnal photosynthetic changes of *Selaginella tamariscina* under different drought stress conditions were studied. The results showed that the net photosynthetic rate of the normal watering plants (CK) showed a bimodal curve of diurnal variation and had a character of photosynthetic depression at midday; The net photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rate of *Selaginella tamariscina* decreased under drought stress; Diurnal photosynthetic changes of *Selaginella tamariscina* under mild drought stress condition were the same as CK; Diurnal photosynthetic changes of *Selaginella tamariscina* under moderate drought stress condition also showed a bimodal curve, but the net photosynthetic rate all day significantly decreased; The midday depression phenomenon and bimodal curve of *Selaginella tamariscina* under severe drought stress condition disappear, the change of stomatal conductance and transpiration rate was close to zero range all day.

Key words: *Selaginella tamariscina*; drought stress; net photosynthetic rate; photosynthetic change